

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number :

08-072083

(43)Date of publication of application : 21.10.1997

(51)Int.Cl.

B25J 5/00  
G05D 1/02

(21)Application number : 08-085441

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 08.04.1996

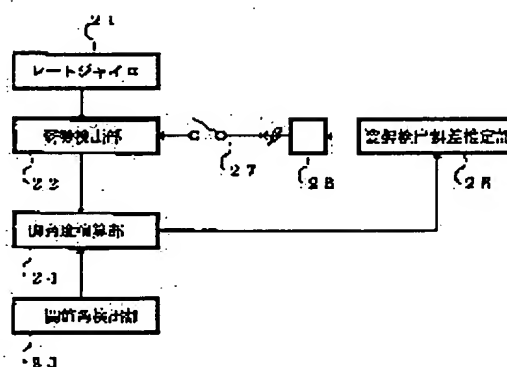
(72)Inventor : WATANABE AKIRA

## (54) TWO-FOOT WALKING ROBOT

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To automatically correct an attitude detection error generated in an inertia sensor used in attitude detection, by estimating an attitude detection error due to an attitude detection part to correct its attitude value from movement of a robot obtained from the attitude detection part and an articulate angle detection part.

**SOLUTION:** In an attitude detection part 22, on the basis of a rate gyro 21, an attitude of the body is detected, in an articulate angle detection part 23, each articulate angle of a leg part is detected, in a leg angle detection part 24, a front/rear angle of the leg part is detected. In an attitude detection error estimating part 25, from movement of a robot obtained from the attitude detection part 22 and the articulate angle detection part 23, an attitude detection error by the attitude detection part 22 is estimated. Further, in a coefficient multiplying part 26, a value, multiplying the estimated attitude detection error in the attitude detection error estimating part 25 by a prescribed coefficient, is added to an attitude detection value of the attitude detection part 22, to be corrected, an output of the coefficient multiplying part 26 is supplied to the attitude detection part 22, by a sampler 27.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
B 2 5 J	5/00		B 2 5 J 5/00	E
G 0 5 D	1/02		G 0 5 D 1/02	C
				Z

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平8-85441

(22) 出願日 平成8年(1996)4月8日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 渡辺 彰

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

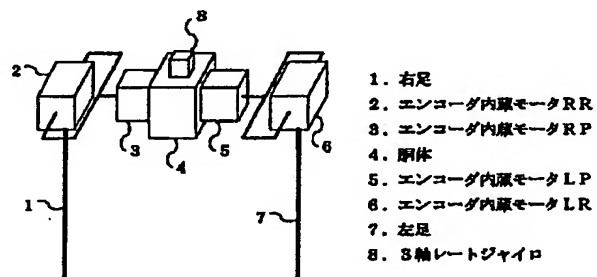
(74) 代理人 弁理士 曾我 道照 (外6名)

(54) 【発明の名称】 2足歩行ロボット

(57) 【要約】

【課題】 2足歩行ロボットの姿勢検出に慣性センサを用い、且つ、慣性センサによって生じる姿勢検出誤差を自動的に補正する。

【解決手段】 本発明の2足歩行ロボットは、慣性センサを用いて2足歩行ロボットの胴体の姿勢を検出する姿勢検出部と、2足歩行ロボットの脚部の各関節部の関節角を検出する関節角検出部と、前記姿勢検出部と前記関節角検出部から得られるロボットの動きから前記姿勢検出部による姿勢検出誤差を推定する姿勢検出誤差推定部とを備え、その姿勢検出誤差推定部の推定値を用いて前記姿勢検出部の姿勢値を補正する。



1. 右足
2. エンコーダ内蔵モータRR
3. エンコーダ内蔵モータRP
4. 胴体
5. エンコーダ内蔵モータLP
6. エンコーダ内蔵モータLR
7. 左足
8. 3軸レートジャイロ

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 胴体とその胴体に接続された2本の脚部を有する2足歩行ロボットにおいて、慣性センサを用いて前記胴体の姿勢を検出する姿勢検出部と、前記脚部の各関節部の関節角を検出する関節角検出部と、前記姿勢検出部と前記関節角検出部から得られるロボットの動きから前記姿勢検出部による姿勢検出誤差を推定する姿勢検出誤差推定部とを備え、その姿勢検出誤差推定部の推定値を用いて前記姿勢検出部の姿勢値を補正することを特徴とする2足歩行ロボット。

【請求項2】 前記姿勢検出誤差推定部は、前記姿勢検出部により検出された姿勢値と前記関節角検出部により検出された各関節部の関節角とから胴体の姿勢を推定し、このようにして得られた推定姿勢値と前記姿勢検出部により検出された姿勢値との差を姿勢検出誤差として求めることを特徴とする請求項1記載の2足歩行ロボット。

【請求項3】 前記姿勢検出誤差推定部により推定された姿勢検出誤差に所定の係数を乗算した値を前記姿勢検出部の姿勢検出値に加えて補正するための係数乗算部をさらに備えることを特徴とする請求項2記載の2足歩行ロボット。

【請求項4】 胴体とその胴体に接続された2本の脚部を有する2足歩行ロボットにおいて、慣性センサを用いて前記胴体の姿勢を検出する姿勢検出部と、前記脚部の歩行速度指令値を発生する歩行速度指令部と、前記脚部の実際の歩行速度を検出する歩行速度演算部とを備え、前記歩行速度指令値と前記歩行速度演算部により検出された実際の歩行速度とを基にして前記姿勢検出部の姿勢値を補正する補正值演算部とを備えることを特徴とする2足歩行ロボット。

【請求項5】 前記補正值演算部は、前記歩行速度演算部の出力値から前記歩行速度指令部の出力値を減算し、このようにして得られた値に対して所定の定数と1歩に要した時間とを乗算して補正值を求めることを特徴とする請求項4記載の2足歩行ロボット。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、例えばレートジャイロ等の慣性センサを使った2足歩行ロボットの制御に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】図8は従来の2足歩行ロボットの構造の概略図である。この図において、1はロボットの右足、2はエンコーダ内蔵モータRR、6はエンコーダ内蔵モータLR、7はロボットの左足、9はエンコーダ内蔵モータP、10は右足首角度センサ、11は左足首角度センサである。

【0003】この2足歩行ロボットは、足首のトルクを必要とせず完全に動歩行を実現している。但し、従来

2

の2足歩行ロボットは、姿勢検出のために図8の符号10、11で示す足首角度センサ（前後、左右）が必要であり、その角度及び各モータ2、6、9の回転角を測定してロボットの姿勢を検出をしていた（参考文献：日本機械学会論文集（C編）48巻433号（昭57-9）p. 1445～1455 題名：竹馬形2足歩行ロボットの動的歩行 著者：下山 勲）。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】このように、従来の2足歩行ロボットは足首角度センサを用いて姿勢を検出しているため、地面の角度が既知でない場合や、地面に凹凸がある場合、姿勢の検出に誤差を生じて歩行不能となるという問題点があった。

【0005】本発明は前記のような問題点を解消するためになされたもので、姿勢検出に慣性センサを用いる。しかし、慣性センサを用いる場合、慣性センサの性質上、着地時の衝撃や振動により誤差が発生し且つ累積するため、その補正を行わなければ歩行不能となるという問題点がある。

【0006】そこで本発明は、姿勢検出に慣性センサを用い、且つ、慣性センサによって生じる姿勢検出誤差を自動的に補正することができる2足歩行ロボットを得ることを目的とする。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明に係る2足歩行ロボットは、慣性センサを用いて2足歩行ロボットの胴体の姿勢を検出する姿勢検出部と、2足歩行ロボットの脚部の各関節部の関節角を検出する関節角検出部と、前記姿勢検出部と前記関節角検出部から得られるロボットの動きから前記姿勢検出部による姿勢検出誤差を推定する姿勢検出誤差推定部とを備え、その姿勢検出誤差推定部の推定値を用いて前記姿勢検出部の姿勢値を補正するように構成される。

【0008】請求項2の発明に係る2足歩行ロボットは、前記姿勢検出誤差推定部が、前記姿勢検出部により検出された姿勢値と前記関節角検出部により検出された各関節部の関節角とから胴体の姿勢を推定し、このようにして得られた推定姿勢値と前記姿勢検出部により検出された姿勢値との差を姿勢検出誤差として求める。

【0009】請求項3の発明に係る2足歩行ロボットは、前記姿勢検出誤差推定部により推定された姿勢検出誤差に所定の係数を乗算した値を前記姿勢検出部の姿勢検出値に加えて補正するための係数乗算部をさらに備える。

【0010】請求項4の発明に係る2足歩行ロボットは、慣性センサを用いて前記胴体の姿勢を検出する姿勢検出部と、前記脚部の歩行速度指令値を発生する歩行速度指令部と、前記脚部の実際の歩行速度を検出する歩行速度演算部と、前記歩行速度指令値と前記歩行速度演算部により検出された実際の歩行速度とを基にして前記姿

勢検出部の姿勢値を補正する値演算部とを備える。

【0011】請求項5の発明に係る2足歩行ロボットは、前記補正值演算部が、前記歩行速度演算部の出力値から前記歩行速度指令部の出力値を減算し、このようにして得られた値に対して所定の定数と1歩に要した時間とを乗算して補正值を求めるように構成される。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について添付図面を参照して説明する。

【0013】実施の形態1。図1は本発明の第1の実施の形態による2足歩行ロボットの全体構成を示す概略図である。1はロボットの右足、2は右足1を左右に動かすエンコーダ内蔵モータRR、3はエンコーダ内蔵モータRR2を前後に動かすエンコーダ内蔵モータRP、4はロボットの胴体、5は左足7を動かすエンコーダ内蔵モータLP、6は左足7を左右に動かすエンコーダ内蔵モータLR、7はロボットの左足、8はロボットの胴体に固定された慣性センサとしての3軸レートジャイロである。次に各部の相互関係について述べる。ロボットの右足1の一端（上端）は第1エンコーダ内蔵モータRR2に固定されており、第1エンコーダ内蔵モータRR2の回転軸は第2エンコーダ内蔵モータRP3の回転軸に固定されている。第2モータRP3は胴体4に固定されている。第3エンコーダ内蔵モータLP5は胴体4に固定されており、この第3エンコーダ内蔵モータLP5の回転軸は第4エンコーダ内蔵モータLR6の回転軸に固定されている。左足7の一端（上端）は第4エンコーダ内蔵モータLR6に固定されている。

【0014】次に動作について説明する。このロボットは第4エンコーダ内蔵モータLR6、第2エンコーダ内蔵モータRR3をリズミカルに動かすことにより、左右の運動を発生させて片足を交互に浮かす。以後、浮いた足を遊脚、接地している足を支持脚と呼ぶ。第2エンコーダ内蔵モータRP3及び第3エンコーダ内蔵モータLP5により支持脚、胴体4、遊脚の前後の位置関係を制御して前後の運動を行わせる。各エンコーダ内蔵モータ\*

$$\theta(t) = \theta(0) \cosh(\sqrt{k}t) + \frac{1}{\sqrt{k}} \dot{\theta}(0) \sinh(\sqrt{k}t) \quad (1)$$

となる。但し、kは定数。

【0019】図5のように、1歩のうち遊脚が着地する直前の時刻を $t=0$ 、また、時刻をさかのぼって遊脚が動きだす直前の時刻を $t=-T$ とし、 $t=-T$ での $\theta$

$$\theta(-T) = \theta(0) \cosh(\sqrt{k}T) - \frac{1}{\sqrt{k}} \dot{\theta}(0) \sinh(\sqrt{k}T) \quad (2)$$

となる。（ $t=0$ をこのように定義したのは、1歩のうちで $d\theta(t)/dt$ のノイズが少ないからである。また、 $t=-T$ をこのように定義したのは、遊脚の動きによるノイズが少なく、且つ、支持脚交替による振動が減衰しているからである。）

【0021】歩行ロボットにおいて、遊脚は歩行のため

\* 2、3、5、6の各エンコーダにより各関節角を検出しており、また、3軸レートジャイロ8の出力から胴体の姿勢を計算し、その値と各関節角から、各足1、7の角度を求める。

【0015】歩行中の前後の動きの概略は図2のようになる。遊脚（左足）がある程度上がった後遊脚を前に振り出す。支持脚（右足）はそれまでの速度及び重力の影響を受けながら前に倒れて行き遊脚が着地する。ここで支持脚が交替し、支持脚だった右足が遊脚となり上がって行く。この動作を繰り返して歩行を行う。

【0016】図3の形態1の制御部の概略構成を表すブロック図である。21は慣性センサとしてのレートジャイロ、22はレートジャイロ21の基にして2足ロボットの胴体の姿勢（鉛直軸に対する傾き）を検出する姿勢検出部、23は脚部（右足、左足）の各関節の角度を検出する関節角検出部、24は脚部の前後角（鉛直軸に対する角度）を検出する脚角度検出部、25は姿勢検出部22と関節角検出部23から得られるロボットの動きから姿勢検出部22による姿勢検出誤差を推定する姿勢検出誤差推定部、26は姿勢検出誤差推定部25により推定された姿勢検出誤差に所定の係数を乗算した値を姿勢検出部22の姿勢検出値に加えて補正するための係数乗算部、27は係数乗算部26の出力を姿勢検出部22に供給するサンプラである。

【0017】次に、姿勢検出誤差推定部の誤差推定方法について述べる。第1図のような竹馬型歩行ロボットの片足支持時の挙動は、遊脚の影響が少ないときは、図2から分かるように、倒立振り子として近似できる。図4の $\theta(t)$ は時刻 $t$ の支持脚の角度（鉛直を0とする）を表しているが、倒立振り子を線形近似した場合、時刻 $t=0$ のときの $\theta(t)$ を $\theta(0)$ とおき、また、そのときの時間微分 $d\theta(t)/dt$ を $\dot{\theta}(0)$ とおくと、 $\theta(t)$ は、

【0018】

【数1】

※  $\theta(t)$ を $\theta(-T)$ とおくと、

【0020】

【数2】

に大きく動かされ、 $t=-T$ から $t=0$ までに $\Delta\phi$ だけ動くが、初期に大きく動くため、時刻 $t=-T$ の直後に瞬時に $\Delta\phi$ だけ動いたと近似できる。このとき支持脚の運動の式に、その反動による項を加えることにより精度をあげることができ、

【0022】

【数3】

$$\Theta(-T) = \alpha \Delta \varphi + \Theta(0) \cosh(\sqrt{k}T) - \frac{1}{\sqrt{k}} \theta(0) \sinh(\sqrt{k}T)$$

$\alpha$ は定数、と近似できる。

【0023】ここで、各関節角及び胴体の姿勢検出値から計算される支持脚の前後角の測定値を $\Theta(t)$ と表し、時刻 $t=-T$ 、 $t=0$ の $\Theta(t)$ をそれぞれ、 $\Theta(-T)$ 、 $\Theta(0)$ とあらわす。このとき、姿勢検出誤差が\*

$$\Theta(-T) = \Theta(-T) + e$$

$$\Theta(0) = \Theta(0) + e$$

と表される。

【0025】これを式(3)に代入することにより、※

$$\Theta(-T) = \alpha \Delta \varphi + (\Theta(0) + e) \cosh(\sqrt{k}T) - \frac{1}{\sqrt{k}} \theta(0) \sinh(\sqrt{k}T) \quad (6)$$

となる。

【0027】よって

$$e = \left( \Theta(-T) - \alpha \Delta \varphi - \Theta(0) \cosh(\sqrt{k}T) - \frac{1}{\sqrt{k}} \theta(0) \sinh(\sqrt{k}T) \right) / (\cosh(\sqrt{k}T) - 1) \quad (7)$$

となり、 $t=0$ での支持脚の角度は $\Theta(0) - e$ と推定される。この $e$ が姿勢検出誤差演算部25の出力である。

【0028】実施の形態2。図6は本発明の他の実施の形態2を示す構成図である。図6において、28は脚部の歩行速度指令値を発生する歩行速度指令部、29は1歩の距離とそれに要した時間から実際の平均歩行速度を計算する歩行速度演算部、30は歩行速度指令部28の値と歩行速度演算部29の値とから姿勢検出補正值を求める補正值演算部、27はサンプラ、21は慣性センサとしてのレートジャイロ、22はレートジャイロ21の出力と、サンプラ27を通った補正值演算部30の出力とから姿勢を計算する姿勢検出部である。

【0029】次にこの実施の形態の動作について説明する。図1に示すような倒立振子型の2足歩行ロボットにおいて、脚の地面に対する角度は、胴体に取り付けられたレートジャイロの値から計算される姿勢検出部の出力と各関節角とから計算される。よって、実際の姿勢の前後角（前を正とする）が、姿勢検出部により計測された値より前に傾いている場合、後述のように、次の1歩での前方への加速度が大きくなり、歩行速度（前向きを正とする）は増加する。また、逆に後に傾いている場合、次の1歩での前方への加速度は小さくなり歩行速度は減少する。すなわち、姿勢検出部22の前後角の誤差が正の場合には歩行速度は減少し、負の場合には歩行速度は増加する。そこで、遊脚が着地するたびに、補正值演算部30において、歩行速度演算部29の値から歩行速度指令部29の値を減算し、その値に対してある適切な定数 $\gamma$ と1歩に要した時間とを乗算し補正值演算部30の出力とする。この補正值演算部22の出力をサンプラ27で1歩に1度遊脚姿勢検出部24の前後角に加え、それを姿勢検出部22の新たな値とする。これにより姿勢

\*  $t=-T$ から $t=0$ まで一定であったと仮定し、その測定誤差を $e$ とおくと、測定値 $\Theta(-T)$ 、 $\Theta(0)$ は、

【0024】

【数4】

(4)

(5)

※【0026】

【数5】

★【数6】

★

検出部22の前後角の誤差を減少させるとともに誤差の累積を防いで、安定した歩行を実現することができる。

【0030】ここで、姿勢検出部22の誤差による次の1歩への影響について述べる。例えば、図7のように、胴体は姿勢検出部22の出力の前後値が零になるように制御されているとし、実際の前後角（前を正とする）が姿勢検出部22の値より前に $\eta$ だけ傾いているとする。すなわち、姿勢検出部22の前後角の誤差は $-\eta$ である。またこのとき、速度指令値を維持するための遊脚の着地時の鉛直軸に対する角度（左回りを正）が $\eta$ であるとする。遊脚の制御は姿勢検出部22の出力と各関節角により行われているので、姿勢検出部22に前記誤差がある場合、遊脚の着地時の角度は図7の下の方のように、 $\eta - \eta$ となる。このように、実際の姿勢が姿勢検出部22の値より前に傾いていると、遊脚が着地し支持脚となったときの角度が前方に傾くため前方への加速度が増加する。

【0031】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、レートジャイロ等の慣性センサを姿勢検出に用い、且つ、その検出誤差を姿勢検出誤差推定部により推定して、慣性センサによる検出誤差を自動的に補正することができるので、慣性センサによる姿勢検出誤差が累積することがなく、2足歩行ロボットは、地面の形状が未知であっても、歩行できるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の2足歩行ロボットの概観図である。

【図2】 2足歩行ロボットの歩行の様子を横から見た模式図である。

【図3】 本発明の実施の形態1を示すブロック図である。

【図4】 倒立振子の説明図である。

【図5】 実施の形態1の歩行動作を示す説明図である。

【図6】 本発明の実施の形態2を示すブロック図である。

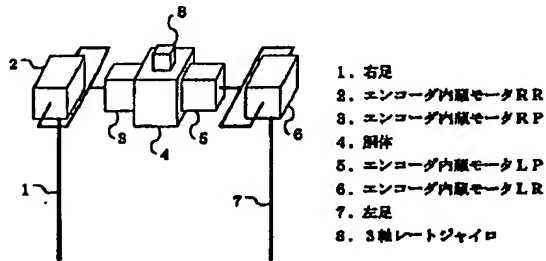
【図7】 実施の形態2の姿勢検出誤差の影響を示す説明図である。

\*【図8】 従来例の歩行ロボットの概観図である。

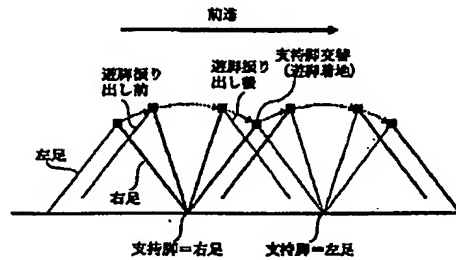
【符号の説明】

21 レートジャイロ、22 姿勢検出部、23 関節角検出部、25 姿勢検出誤差推定部、28 速度指令部、29 歩行速度演算部、30 補正值演算部。

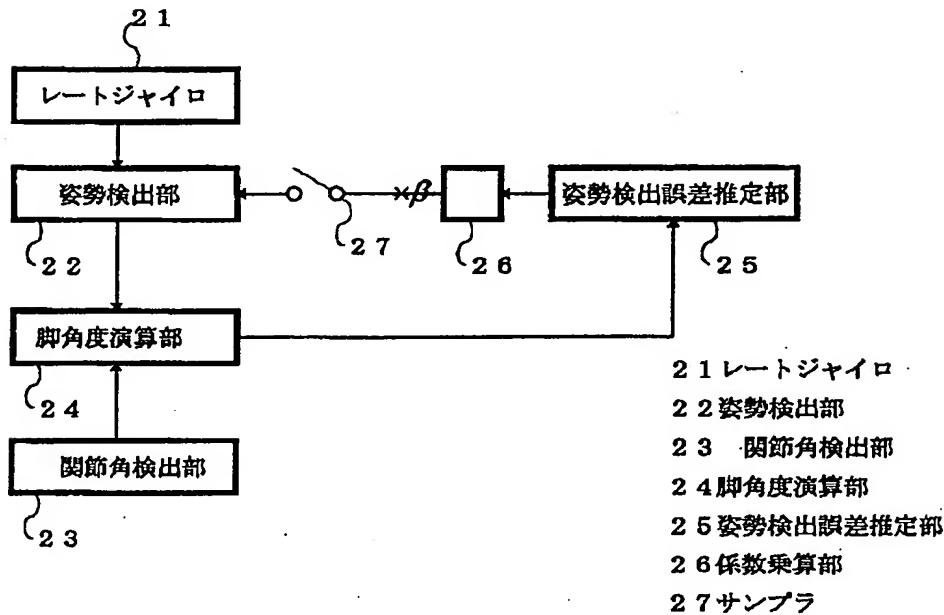
【図1】



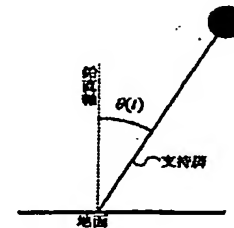
【図2】



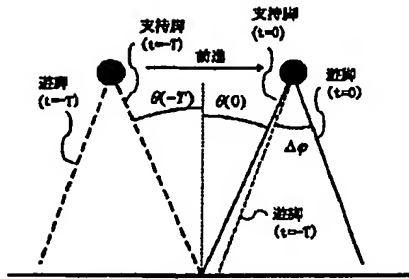
【図3】



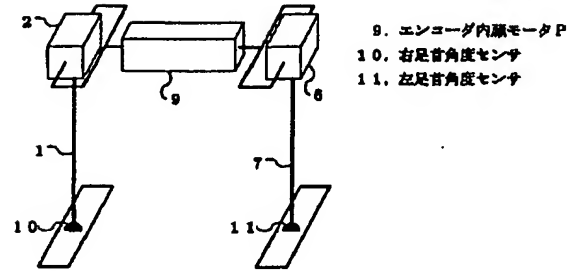
【図4】



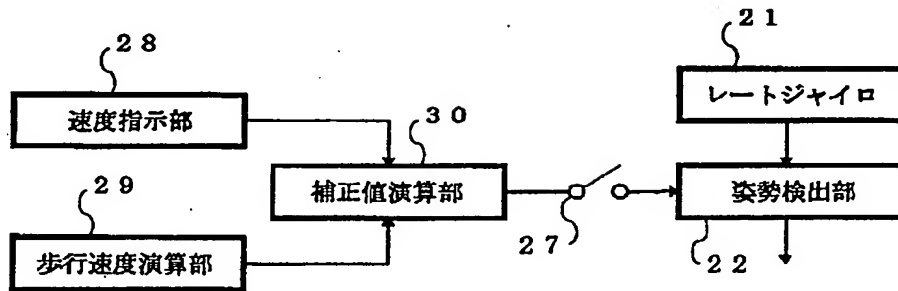
【図5】



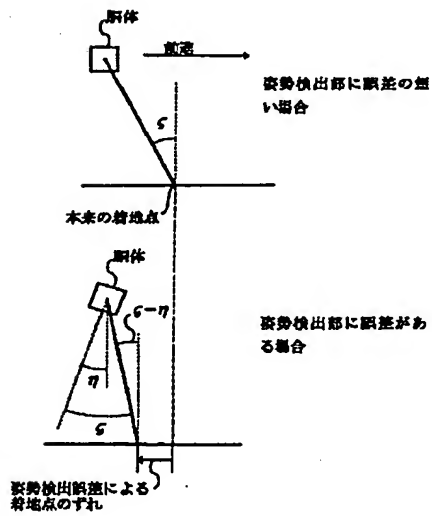
【図6】



【図6】



【図7】





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**